

## 論文の内容の要旨

論文題目 Study on all-optical wavelength converter based on nonlinear electro-absorption directional coupler  
「電界吸収非線型方向性結合器に基づく全光波長変換デバイスに関する研究」

ソイマデー ナッタチャイ

(本文) 近年はより一層の高速大容量通信が必要とされており、光ファイバー通信が益々重要になっている。しかしファイバー・ケーブルの新規敷設には非常にコストがかかる為、既存の光ケーブルの通信容量を最大限に利用するための技術が研究されてきた。これらの研究は、大容量なデータを最短時間で伝送することを目的としている。この為には、「速度」が重要な要素になってくる。実際、「速度」には二つの意味合いがある。つまり伝送速度とスイッチング速度である。この二つには大きな違いがある。信号は光の速度で伝搬するので伝送速度はこれ以上速くすることはできない。しかし、スイッチング速度にはまだ問題が残されている。現在の光通信システムにおいては、電気によるスイッチが使われており、スイッチング速度を速くすることができない。電気によるスイッチングのデータ処理能力は、光ファイバーの伝送容量に対して較べものにならないくらい小さい。このため、スイッチング能力が光通信システムにおけるボトルネックになっている。

一方で、全光スイッチが高速で動作することはよく知られており、これを用いることで、光電変換することなしに、全光による制御が研究されている。しかし、光の間には直接的な相互作用が存在しないために、依然として電子の振る舞いが重要になる。従って、スイッチングに必要な電子の総数および動作速度を最適化することが必要となる。

必要とする電子数が少ない非線型効果としては電界吸収(EA)が知られている。この電界吸収効果を利用することで、高速なスイッチを実現することができる。しかし、電界吸収効果は、Pump 光だけではなく、Probe 光も吸収するために大きな Probe 光の入力パワーを必要とする。

この研究では、方向性結合器(DC)を用いることでこの問題を解決する方法を提案した。方向性結合器の結合状態を電界吸収効果により制御することで、Probe 光の入力パワーは低いのに生き残れ、高速全光スイッチングを実現することができる。この論文において提案された電界吸収非線型方向性結合器(DC-EA)は、電界吸収を持つ導波路と受動導波路によって構成されている。方向性結合器の特性は屈折率の変化で起きるので、制御光は電界吸収導波路の屈折率を変化させるようにしなくてはならない。また、少ない電子でこの屈折率変化を起こさせる必要がある。従って、大きな非線型効果を持つ材料が最も重要になってくる。

この論文では、電界吸収効果による方向性結合器の特性制御に関する研究を行った。まず、様々な方向性結合器の構造を考え、数値計算によりその特性を解析した。複雑な作製プロセスを避け、電界吸収以外の効果の影響を少なくするために、最も単純な構造を採用した。この構造の DC-EA を実際に作製して、電界吸収による結合状態の変化などの評価を行った。この結果、数値解析と同様に、光によるスイッチング特性が観測された。しかし、InGaAsP 多重量子井戸とリッジ導波路を使っ

ているために、十分なスイッチング特性は得られていない。スイッチング・パワーなどの特性を改善するためには、さらなる改善が必要となる。より実用的な光スイッチを実現するために、理論的な考察を行った。もっと高いエキシトン影響がある量子構造や、もっと電子閉じ込み係数がある DC 構造などを用いれば、光スイッチングパワーを一層低減することが可能になる。これらの改善により、この論文で提案された DC-EA が将来、光通信システムにおいて、重要な役割を演ずるものと考えられる。

Recently, the demand of the enormous amount of data transmission is increasing rapidly, the optical fiber telecommunication is thus very important. Because the fiber construction of the optical fiber costs very large investment and, in fact, the utilization of the fiber cable has not reach the limit of the fiber, many engineers and researchers are trying to develop the optical fiber systems. The goal of this development is to complete transmission of the large data with various formats, source and destinations, within the shortest time. This leads to the meaning of the term of "speed". In fact, there are two meanings of this term; transmission speed and switching speed. Two meanings are very different. There is no doubt that the optical transmission is fastest because the transmission is at the speed of light. However, switching speed is another issue. The telecommunication system today relies on the electrical switches, which operate too slowly. The capability of the electronic switches to process data cannot be compared with the capability of the optical fiber to transmit the data. Therefore, the bottleneck of the optical communication system is the switch.

It is well known that all-optical switch can operate very fast. It gets rid of the necessity of electron interaction/transmission and controls light by another light directly. However, light cannot interact the other light by itself. Thus, the electron is still crucial. The all-optical switch, therefore, requires the compromising and optimizing between the sufficient amount of electron and the operating speed of switches.

Electro-absorption effect is one among many to build up nonlinearity for materials that require few electrons to operate. This requirement yields the big chance for engineers to invent the high-speed switch. However, the drawback of EA is that it destroys photons, not only the pump light but also the probe light. Therefore, we have to deal with this problem instead.

This research is proposed with the idea that, by using DC structure, if we can manage the coupling-uncoupling effect, we can possibly configure so that the probe lights will travel with low absorption. To achieve this scheme, the basic structure of the DC-EA device will compose of two waveguides; passive (or amplifying) waveguide and EA waveguide. Because DC will switch by using its refractive index, for the all-optical function, the pump light has to be able to change the refractive index of the EA waveguide very much but generate only few electrons. Therefore, the high nonlinearity material is very essential for DC-EA devices.

Because this research has just been proposed for the first time, the purpose of this research is thus to examine the possibility of the coupling-uncoupling effect in the device. The research also studies the fabrication feasibility and the basic characteristics that can predict the performances of the devices for the further improvement in the future. First, it begins with the proposal of many DC structures. The primary consideration is then introduced for the simulations and analysis. The simplest device structure is chosen so that the complexity of the fabrication process would not obstruct, or make the other effect to the study. Then, the device is fabricated and measured; mainly to examine the existence of the coupling-uncoupling effect induced by EA.

Finally, even we can prove the expected phenomena, but the device, based on InGaAsP MQW structure and ridge waveguide, is still not practical. It still needs more improvement, especially in the optical power requirement. By the theoretical study, we now know how to improve the device for the practical high performance all-optical switches. The simulations indicate that the higher degree of exciton effect, the lower the threshold power. Also, the higher the carrier escape lifetime, the lower the threshold power.